

学校编码：10384

分类号\_\_\_\_密级\_\_\_\_

学号：19820081153021

UDC\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

交流发光二极管特性研究及热学仿真

Characteristics Study and Thermal Simulation of  
Alternating Current Light-Emitting Diode

陈 莹 亮

指导教师姓名：高 玉 琳 副教授

专 业 名 称：物 理 电 子 学

论文提交日期：2011 年 5 月

论文答辩时间：2011 年 6 月

学位授予日期：2011 年 月

答辩委员会主席：\_\_\_\_\_

评 阅 人：\_\_\_\_\_

2011 年 6 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

# 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（        ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于        年        月        日解密，解密后适用上述授权。

（        ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年        月        日

## 摘要

随着人们对半导体材料生长技术、芯片工艺技术以及器件封装技术研究的不  
断深入，半导体发光二极管（LED）的性能得到了大幅度的提升，拓展了 LED  
的应用领域。在新理念的指引下，设计出了在交流电压驱动下工作的发光二极管  
（AC-LED），进一步提升了 LED 灯具的产品竞争力。与传统 DC-LED 相比，  
AC-LED 在电学、光学、热学特性上表现出极大的不同。本文主要从 AC-LED 器  
件本身的特性入手，围绕其电学、光学、热学特性展开研究，并建立相关热学模  
型进行仿真，分析讨论材料属性对器件特性的影响。具体包括以下内容：

1. 简单介绍了 LED 的发展历史和 AC-LED 的研究背景，并且阐述了交流驱  
动 LED 的芯片结构特点以及产品的应用前景，提出了进行 AC-LED 特性研究的  
重要性。

2. 从最基本的半导体材料发光特性出发，对 AC-LED 器件的发光机理以及  
芯片驱动原理进行了详细的说明，并对文章器件性能研究所对应的特征参量做了  
简单介绍。

3. 在不同的交流电压、频率和热沉温度下，对 AC-LED 的光学、电学参数  
进行了测试。通过对 AC-LED 电流电压特性、光通量和光功率的深入研究，发  
现在交流平均功率和直流平均功率相同的情况下，器件的光通量、光功率和发光  
效能的交流驱动下都要比直流驱动时低，而且随着平均功率的增大，器件的发光  
效能呈现先增大后减小趋势，器件热效应、GaN 基 LED 的效率衰减效应以及等  
效串联电阻是造成这一现象的主要因素。同时，还在改变热沉温度的条件下，讨  
论了温度对器件的峰值波长、光功率与发光效能的影响。

4. 通过对传统电学法的研究，在此基础上利用脉冲电流分别驱动 AC-LED  
正反向芯片，改变温控热沉温度可实现 AC-LED 结温及热阻的测量，并对不同  
耗散功率下的热阻进行了测量，观察其变化趋势。同时，使用 Solidworks 进行  
AC-LED 热学模型的建立，采用基于有限体积法的 FloEFD 流体分析软件对  
AC-LED 进行热学仿真。通过对 AC-LED 瞬态特性仿真，讨论与 DC-LED 的不  
同之处。

交流驱动 LED 的出现，不仅使其灯具产品摆脱了变压器的束缚，还提高了产品的可靠性和寿命。通过本文对 AC-LED 特征参数的测试分析，将有助于对器件整体性能的研究，同时，利用热学仿真可实现对其封装结构上存在的问题进行深入的探讨。这对今后 AC-LED 的测量研究有重要的参考价值。

**关键词：**AC-LED；伏安特性；发光效能；热阻；热仿真

## Abstract

As one of the greatest inventions in the history of mankind, Light emitting diodes (LEDs) have undergone a qualitative change from used as indicating devices at first to general lighting source nowadays. In the development of the manufacture technology, LEDs driven by alternating current power, referred to as “alternating current light emitting diode (AC-LEDs)” has been invented. Compared with traditional DC-LEDs, AC-LEDs exhibit obvious differences in electrical, optical and thermal characteristics. In this thesis, the properties of AC-LEDs were studied and thermal characteristics were simulated. This thesis was organized as follows:

In chapter 1, the history of LEDs and the background of AC-LEDs were briefly reviewed. The structural characteristics and application prospect of AC-LEDs were illustrated. And the importance of studying on properties of AC-LEDs was proved to be necessary.

In chapter 2, on the basis of the optical and electrical properties of semiconductor material, the emitting mechanism and driven principle of AC-LEDs' chip were discussed in detail.

In chapter 3, the optical and electrical properties of AC-LEDs driven by AC and DC source were measured at different alternating-current voltage, frequency and heat sink temperature respectively. It was found that under the same average power the luminous efficacy of AC-LEDs driven by DC source was larger than that of AC-LEDs driven by AC source because of the discontinuous lighting of AC-LEDs, and luminous efficacy of AC-LEDs increases and then decreases with increasing average power, which was mainly caused by thermal effects, efficiency droop and equivalent series resistances. By changing the temperature of heat sink, the impact of temperatures on peak wavelength, optical power and luminous efficacy of AC-LEDs were further discussed.

In chapter 4, based on the traditional electrical method, the pulse-driven-current

method was employed to measure the junction temperature and thermal resistance of AC-LEDs by adjusting the temperature of heat sink. The thermal resistance at different dissipation powers was analyzed. On the basis of the thermal experiments, the thermal model for AC-LEDs was built by Solidworks Software, and the transient and steady-state thermal characteristics of AC-LEDs were simulated by FloEFD Software. The differences between AC-LEDs and DC-LEDs in thermal simulation were further discussed.

AC-LEDs have not only relieved lamps from transformers but also raised the reliability and extended the life of the product. By synthetical measurements and analysis of the characteristic parameters of AC-LEDs and thermal simulation, it is useful for further studies of AC-LEDs in the future.

**Key words:** AC-LEDs; Volt-ampere characteristics; Luminous efficacy; Thermal resistance; Thermal simulation

# 目 录

摘要.....	I
第一章 绪论 .....	1
1.1 引言 .....	1
1.2 交流 LED 的简介 .....	2
1.2.1 LED 的发展历史 .....	2
1.2.2 交流驱动 LED 的研究背景 .....	4
1.3 交流驱动 LED 的结构特点及应用 .....	8
1.3.1 芯片器件结构 .....	9
1.3.2 应用前景 .....	11
1.4 本文的选题依据和研究内容 .....	13
1.4.1 选题依据 .....	13
1.4.2 研究内容 .....	13
第二章 交流 LED 的驱动特性 .....	15
2.1 半导体材料发光特性 .....	15
2.1.1 半导体材料 PN 结特性 .....	15
2.1.2 异质结及量子阱结构 .....	16
2.2 交流 LED 的发光机理及芯片驱动原理 .....	17
2.2.1 发光机理 .....	17
2.2.2 AC-LED 芯片电路拓扑形式 .....	18
2.3 主要特征参量 .....	21
2.3.1 电参量 .....	21
2.3.2 光参量 .....	26
2.3.3 热参量 .....	27
第三章 交流 LED 光电特性的研究 .....	29
3.1 引言 .....	29
3.2 光电检测平台 .....	30
3.3 实验结果分析 .....	31
3.3.1 电流电压特性 .....	32
3.3.2 功率因数 .....	33
3.3.3 发光性能 .....	34



3.4 小结 .....	39
<b>第四章 交流 LED 热特性分析及热仿真 .....</b>	<b>41</b>
4.1 引言 .....	41
4.2 交流 LED 热产生及热传导原理 .....	42
4.2.1 热产生机制 .....	42
4.2.2 热传导原理 .....	43
4.2.3 热对器件性能的影响 .....	44
4.3 交流 LED 热参数测量及分析 .....	44
4.3.1 传统电学法及脉冲法的测量原理 .....	45
4.3.2 热学测量平台及相关测试条件 .....	48
4.3.3 结果与分析 .....	49
4.4 交流 LED 热学模型的建立及仿真 .....	51
4.4.1 基于温度场分析的有限体积法 .....	52
4.4.2 热学模型的建立 .....	55
4.4.3 模型仿真 .....	57
4.5 小结 .....	63
<b>第五章 总结与展望 .....</b>	<b>65</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>68</b>
<b>攻读硕士期间发表的学术论文 .....</b>	<b>71</b>
<b>致谢 .....</b>	<b>72</b>

# Contents

<b>Abstract.....</b>	<b>III</b>
<b>1 Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Review of AC-LEDs .....</b>	<b>2</b>
1.2.1 History of LEDs .....	2
1.2.2 Research context of AC-LEDs.....	4
<b>1.3 Structure features and applications of AC-LEDs.....</b>	<b>8</b>
1.3.1 Chip structure.....	9
1.3.2 Application prospect .....	11
<b>1.4 Selected subject and principal research content .....</b>	<b>13</b>
1.4.1 Selected subject.....	13
1.4.2 Principal research contents .....	13
<b>2 Driven features of AC-LEDs .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Luminescence properties of semiconductor materials .....</b>	<b>15</b>
2.1.1 Characteristics of PN junction .....	15
2.1.2 Heterojunction and quantum well structures .....	16
<b>2.2 Luminescence mechanism and chip driven principle of AC-LEDs.....</b>	<b>17</b>
2.2.1 Luminescence mechanism .....	17
2.2.2 Chip circuit structures of AC-LEDs.....	18
<b>2.3 Major characteristic parameters.....</b>	<b>21</b>
2.3.1 Electrical parameter .....	21
2.3.2 Optical parameter.....	26
2.3.3 Thermal parameter .....	27
<b>3 Photoelectric properties of AC-LEDs .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1 Introduction.....</b>	<b>29</b>
<b>3.2 Optoelectronic measuring system.....</b>	<b>30</b>
<b>3.3 Experimental results and analysis.....</b>	<b>31</b>
3.3.1 Volt-ampere characteristic.....	32
3.3.2 Power factor .....	33
3.3.3 Luminescence properties .....	34

3.4 Summary.....	39
<b>4 Analysis and simulation of AC-LEDs thermal characteristics .....</b>	<b>41</b>
4.1 Introduction.....	41
4.2 Heat generation and heat conduction theory of AC-LEDs .....	42
4.2.1 Heat generating mechanism.....	42
4.2.2 Theory of heat conduction .....	43
4.2.3 Influence on AC-LEDs performance of heat generation .....	44
4.3 Measurement and analysis on thermal characteristics of AC-LEDs .....	44
4.3.1 Traditional measurement method and pulse measurement method of thermal resistance.....	45
4.3.2 Thermal measuring system and experimental conditions .....	48
4.3.3 Results and analysis .....	49
4.4 Thermal model establishment and simulation of AC-LEDs .....	51
4.4.1 Basic theory of finite volume method.....	52
4.4.2 Establishment of thermal model .....	55
4.4.3 Thermal simulation .....	57
4.5 Summary.....	63
<b>5 Summary and prospect .....</b>	<b>65</b>
<b>References .....</b>	<b>68</b>
<b>List of Publications .....</b>	<b>71</b>
<b>Acknowledgements .....</b>	<b>72</b>

## 第一章 绪论

### 1.1 引言

在 20 世纪末,照明产业出现了重大的变革,面对能源的紧缺、环境的污染,人类对一种高效节能、绿色环保和显色性好的新光源的渴求越来越急迫,以发光二极管(Light Emitting Diode, LED)为代表的半导体发光器件成为了变革的主导。

人类照明的历史经历了漫长的发展过程,人类曾长期靠燃烧木材照明,1772 年开始燃气照明,到了 1879 年爱迪生发明白炽灯后,人类的照明史从此进入一个崭新的时代,改变了人类长期以火作为照明光源的历史。随着人类社会的不断进步,人们对电的依赖与日俱增,特别是火力、风力、水利、太阳能以及昂贵的核能发电的飞速发展都标志着人类对电的依赖性。而不可再生能源的消耗,以及人类在使用能源过程中产生的二次污染都对全人类的可持续发展提出了挑战。因此,节能环保是世界人类可持续发展最重要的主旨。白炽灯、荧光灯作为第二代照明光源,存在天生的缺陷,白炽灯的钨丝加热耗电大,灯泡易碎,荧光灯所发的光对人的视力不利,而且灯管内的汞也有害于人体和环境。与此同时,在二次能源占主导地位的现实下,照明用电约占总用电量的 12%。寻找一种既能保持并提升照明效果、又能大幅度节电的绿色无污染的新光源,几乎成为所有国家长期致力的方向。欧洲一些著名电光源公司如 Philips、Osram 和 GE 公司以及欧洲相关高校和研究所已经开始研制 21 世纪的新型光源<sup>[1]</sup>,主要目标是:1、研究高效、节能、新颖光源;2、研究照明工业新概念、新材料,防止使用有害于环境材料;3、设计模拟自然光的理想白色光源,显色指数接近 100。日本投资 50 亿日元推行“21 世纪光计划”,提出 2006 年就要用半导体灯大规模替代传统白炽灯。美国能源部设立了由 13 个国家重点实验室、公司和大学参加的“半导体照明国家研究项目”,计划用 10 年时间,耗资 5 亿美元开发半导体照明。我国台湾也在组织实施相关计划,设立了由 16 个生产科研和大学参加的“21 世纪照明光源开发计划”。我国也已于 2003 年 6 月正式实施了国家半导体照明工程,并确定深圳、上海、厦门、大连、南昌等 5 个城市为半导体照明工程产业化基地。根据 HP 公司专家的预测,到 2020 年左右,半导体照明的效率有可能达到 200lm/W,

超过了其他的电光源，且能符合 21 世纪新光源的 3 个要求<sup>[2]</sup>。

近年来功率型白光 LED 的性能得到持续提升，诸如光效的提高，光色的丰富和显色性能的改善等，半导体照明材料和器件的应用领域正逐渐从作为辅助照明光源向通用照明光源扩展。可以预期，半导体照明材料和器件将凭借其诸多独特优势，成为新一代绿色照明光源，在未来能源和环保领域形成可持续发展的关键性技术、产品和工业体系。

大功率 LED 也显现出了一些发展瓶颈，特别是在与传统电源的兼容方面。主要体现在以下几个方面：首先，大功率直流 LED 的工作电压大约是 3V，与目前市电（~220V@50Hz、~110V@60Hz）的交流电源差别较大，因此无法直接用市电驱动；其次，大功率直流 LED 工作电流通常是 350mA，大电流导致在导线和器件连接处的电阻热损耗加大，大功率直流 LED 芯片的结温较高，所以对散热通道的设计要求尤其苛刻；第三，大功率 LED 器件发光效率仍有待提高，尤其是做成灯具后，由于变压器及相关电路转换效率的影响，造成总体效率的进一步下降。近年来，随着 LED 在材料选取、晶粒制程、封装架构设计技术等方面的研究不断进步，针对以上三点不足，一种新的交流发光二极管（Alternating Current Light-Emitting Diode, AC-LED）技术应运而生<sup>[3]</sup>，通过这种新的思路，推动了 LED 照明技术的实用化。

## 1.2 交流 LED 的简介

### 1.2.1 LED 的发展历史

20 世纪初，美国的 Henry Joseph Round 发现并报道了 SiC 晶体中的电致发光现象，这一度被认为是世界上第一支 LED。由于材料的限制，发光非常微弱，不太适合实际应用，为此，电致发光的研究被搁置了很长一段时间。

20 世纪 30 年代，随着科学家对电流的广泛应用和认识，出现了“电致发光”这个术语，为日后 LED 发光现象的诠释奠定了基础。

20 世纪 60 年代初，美国通用电气公司的 Holonyak 博士用气相外延（VPE）技术在 GaAs 衬底上生长出了 GaAsP，并研制出了第一支真正意义上的可见光（红光）LED，但发光效能上要比白炽灯低了 150 倍，仅为 0.1lm/W。在此之后，

Monsanto 和 HP 公司在此基础上进行了改进,降低了成本的同时,提高了效率,在其后的 10 年间,可见光 LED 成为市场上的主导产品,开始被用作指示灯,如今 LED 仍是指示灯的主要光源。

1967 年,Bell 实验室的 Logan 用 Zn、O 掺杂 GaP 研制红光 LED,以及用 N 掺杂 GaP 研制绿光 LED,将量子效率提高了近一个数量级。

1972 年,Monsanto 实验室的 Craford 用 N 掺杂 GaAsP 研制黄、橙、红光 LED,将 LED 效率进一步提高,在这个时期 LED 的美好应用前景终于为人们所认识,被大量地应用于计算器、数字手表和测试仪器等场所。

1972 年,IBM 实验室 Woodall 用 LPE 技术在 GaP 衬底上生长 AlGaAs 研制红光 LED,后经过不断改进,AlGaAs 材料的橙黄、绿光、红光 LED 被大量应用于室外信号指示、条形码、医疗器械等领域,AlGaAs 仍旧是目前重要的 LED 原材料之一。

20 世纪 90 年代初,美国 HP 公司和日本东芝公司采用 LPMOCVD 技术生长出 InGaAlP 四元材料,并成功研制出高亮 LED 器件,由于其发光效率高,颜色范围广,受到了广泛的重视并迅速发展,随后的多量子阱芯片技术进一步提升了 LED 的性能,使 LED 的应用更为广泛,从单一的指示灯应用发展到交通信号灯、显示屏、汽车上面。

1971 年普林斯顿 RCA 实验室的 Pankove 采用 MIS 结构研制了第一支 GaN 基蓝光 LED,但是限于当时的外延生长技术以及 P 型掺杂的问题,GaN 蓝光 LED 的研究陷入了较长时间的停滞期。直到 1993 年,Nichia 公司的 Nakamura 用 MOCVD 技术在蓝宝石衬底上生长得到了高质量的 GaN,并研制成功了第一支 InGaN 双异质结蓝光 LED,并在 1994 年将其光强提高到 1cd 水平。美国的 Cree 公司采用 SiC 取代传统的蓝宝石作为蓝光 LED 的衬底,研制出 InGaN 量子阱 LED,使得蓝光 LED 效率不断提高。高亮度的 GaN 基蓝光 LED 填补了三原色 LED 的空缺,使其在全彩大屏幕显示屏、绿色交通信号灯以及其他很多地方得到应用。

高效蓝光 LED 的研制成功也使得高亮度白光 LED 的研制成为可能,通过 InGaN 芯片发出蓝光激发钇铝石榴石(YAG)荧光粉,激发出的黄光与剩余蓝光混合产生白光,这是目前白光 LED 普遍采用的形式;通过 InGaN 紫外芯片发出

紫外光激发 RGB 三色荧光粉从而形成白光，也是一种解决方案；另外，Nichia 公司的 Yamada 等人通过在有源区生长复合量子阱，从而制得单芯片无荧光粉白光 LED。白光 LED 的研制成功使得 LED 的应用渗透到 LCD 背光源、手机背光、景观装饰、甚至普通照明等领域。

综上所述，LED 的发展历程是一个半导体材料的不断改进以及外延制备技术的不断提高的历程，同时也是 LED 应用不断得到扩展的历程。LED 技术发展到今天，以 AlInGaP 四元材料为主的黄、橙、红光 LED，以 InGaN 材料为主的紫、蓝、绿光 LED，以及 AlGaAs 材料制造的深红 LED，构成了可见光波段的全彩 LED 系列，白光 LED 以采用 InGaN 蓝光芯片配合 YAG 黄色荧光粉方案为主。从 GaAsP 基 LED 开始，新材料及新技术的出现使得 LED 的发光效能提高的速度大约为每 10 年提高 10 倍，30 年提高了约 1000 倍。2011 年 1 月在日本东京有明国际会展中心举行的“新一代照明技术展”上，美国 Cree 公司展出一款已于 2010 年量产的‘XLamp XM-L LED’，其发光效能达到了 160lm/W，色温约为 5000 K。同时，德国的 Osram 光电半导体公司成功地将暖白光 LED 光源的发光效率提高到 142lm/W，创下了新的实验室记录，并且在 2755K 的相关色温（CCT）下，LED 的显色指数（CRI）高达 81。在 2011 年美国 Cree 公司使用了一个单模块组件，在色温 4500K、标准测试室温度 350mA 下，测得白光 LED 光效达 231lm/W，该项创新技术可应用于 Cree XLamp white LEDs 且使其光效得以提高，但目前还未应用于 Cree 的 LED 产品系中。通过对 LED 性能发展趋势的分析，在 2003 年美国 Lumileds Lighting 公司的 Roland Haitz 提出，“LED 大约每经过 18 到 24 个月可提升一倍的亮度，即 LED 的价格每 10 年将为原来的 1/10，性能则提高 20 倍”，这就是著名的 Haitz 定律，也被称为 LED 行业的摩尔定律<sup>[4]</sup>，这个定律的提出使人们对 LED 行业未来的发展充满了无限的期望。

### 1.2.2 交流驱动 LED 的研究背景

目前商用照明级 1W 直流驱动的大功率 LED 在发光效率上已经可以达到 100lm/W 以上，超过了荧光灯及节能灯的 70~80lm/W 的发光效率，更超过了传统的白炽灯。因此，直流驱动 LED 的应用已经十分的广泛，其中以手机应用为主，其次是汽车灯及仪表，还有信号灯和显示屏，同时，家居道路照明也越来越

多的采用 LED 作为基础光源。作为新一代的照明光源，LED 以其独特的节能环保的特性迅速进入了人类照明领域，同时也展现出了巨大的发展潜力，符合新时代背景下人们对低碳环保生活的追求。

LED 的驱动电源与传统光源不同，其只有在直流电源驱动下才能正常工作，由于日常照明使用的是高压交流的市电电源（ $\sim 220\text{V}@50\text{Hz}$ 、 $\sim 110\text{V}@60\text{Hz}$ ），所以需要利用降压的技术来获得较低的供电电压，常用的是变压器或开关电源降压，然后将交流低压变换成直流电压，再转换为直流恒流源促使 LED 光源发光。为此，在使用直流 LED 作为照明器件时，需要额外提供一个交流直流转换电源（AC/DC converter）进行供电，如图 1.1 所示。但是，将 AC 电源转为 DC 的转换电源不论是另外与 LED 进行连接，或是将其嵌入到 LED 灯具产品中，都会增加产品的体积、重量以及成本，同时，无论是经由变压器和整流器或是开关电源进行降压，系统都会有一定量的损耗，而且在交流、直流之间转换时约 15% ~ 30% 的电力被损耗，系统效率很难做到 90% 以上。而且，转换电源中的电子元件寿命远低于正常使用下的 LED 器件，使得转换电源的耐用度不如 LED 光源来得高，大大影响了灯具产品整体的使用寿命。

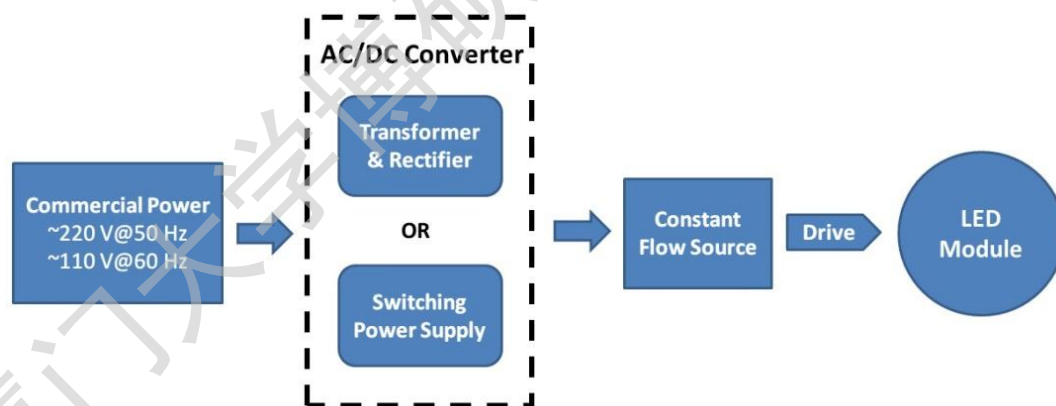


图 1.1 传统 LED 灯具应用模型

除了产品附加的 AC/DC 转换电源外，传统的直流 LED 在进行产品应用时，都需要将其焊接在不同材质不同电路结构的基板上，因此，产品的光源可以认为是由一定数量的 LED 器件和拥有多层结构的基板所组成。在实际应用中，光源的组成上将依据 LED 数量合理的规划，基板的电路层往往采用串并联的结构进行 LED 的布局。正是由于基板中存在串联电路，如果其中一颗 LED 芯片失效将会影响整个光源的工作，这时就需要对基板上的 LED 进行解焊操作，然而对于



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库